

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

## **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
Please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-035043

(43)Date of publication of application : 02.02.2000

(51)Int.Cl.

F16C 33/32  
F16C 33/62

(21)Application number : 10-202285

(71)Applicant : NIPPON SEIKO KK

(22)Date of filing : 16.07.1998

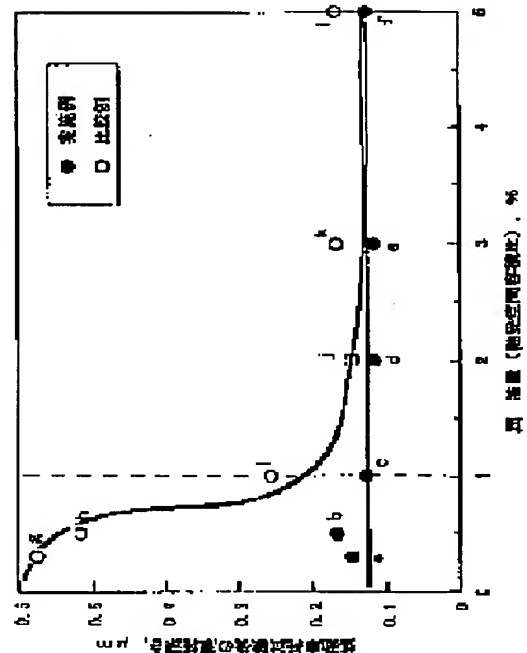
(72)Inventor : UEDA KOJI  
OHORI MANABU

## (54) ROLLING BEARING

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a rolling bearing for suppressing the deterioration of a fretting abrasion resistant characteristic even reducing the quantity of lubricant to be enclosed, and moreover improving the fretting abrasion resistant characteristic.

**SOLUTION:** A titanium oxide layer is formed onto at least one side of a rolling contact race surface and a rolling element surface, and is preferably to be an anatase-type having a coat thickness of 0.3-5.0  $\mu$  m. Consequently lubricating oil can be used as lubricant, and moreover a fretting abrasion resistant characteristic can be improved even reducing the lubricating oil into fine quantity.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-35043  
(P2000-35043A)

(43) 公開日 平成12年2月2日 (2000.2.2)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
F 1 6 C 33/32  
33/62

識別記号

F I  
F 1 6 C 33/32  
33/62

テーマコード(参考)  
3 J 1 0 1

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平10-202285

(22) 出願日 平成10年7月16日 (1998.7.16)

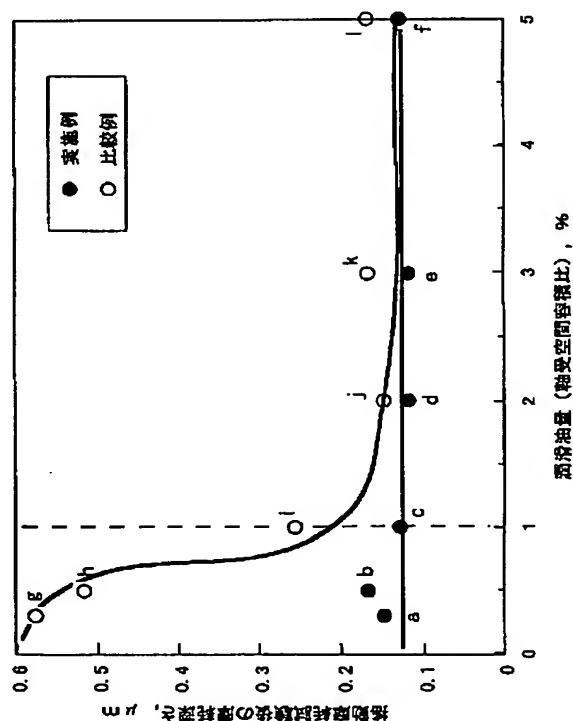
(71) 出願人 000004204  
日本精工株式会社  
東京都品川区大崎1丁目6番3号  
(72) 発明者 植田 光司  
神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号  
日本精工株式会社内  
(72) 発明者 大堀 學  
神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号  
日本精工株式会社内  
(74) 代理人 100066980  
弁理士 森 哲也 (外2名)  
Fターム(参考) 3J101 AA01 AA62 BA02 BA55 DA03  
DA05 DA11 EA03 EA67 EA78  
FA08 FA35 GA53 GA60

(54) 【発明の名称】 転がり軸受

(57) 【要約】

【課題】 封入する潤滑剤を少量化しても耐フレッチング摩耗特性の劣化を抑え、更には耐フレッチング摩耗特性の向上を図ることができる転がり軸受の提供を課題としている。

【解決手段】 軌動輪表面、及び転動体表面の少なくとも一方に対し、酸化チタン層を形成する。その酸化チタン層は、膜厚を0.3~5 $\mu$ mのアナターゼ型が好ましい。これによって、潤滑剤として潤滑油が使用でき、しかも当該潤滑油を微量量としても耐フレッチング摩耗特性が向上する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内輪と外輪の間に転動体が介装されて構成される転がり軸受において、軌動輪表面における少なくとも軌道面、及び転動体表面の少なくとも一方に対し、酸化チタン層を形成したことを特徴とする転がり軸受。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、転がり軸受に係り、特に、ハードディスクドライブ（以下HDDと称する）の構成部品の一部であるアクチュエータ（特にスイングアーム）の揺動部分やスピンドルモータ用軸受、さらには、歯科器具等の医療用装置のスピンドル軸受や食品加工機器のスピンドル軸受等のように定期的に光（自然光や殺菌光等）が当たる環境下で使用される軸受として好適な転がり軸受に関する。

## 【0002】

【従来の技術】HDD装置のスピンドルモータやスイングアーム用の軸受は、装置の省電力化、高応答性、コンパクト化等に伴い、より高速での回転、音響特性の向上、回転トルクやトルク変動の小さいことなどが要求され、さらなる耐フレッチング摩耗特性や寿命の向上が要求されている。

【0003】ここで、HDDスイングアーム用転がり軸受においては、グリース潤滑が主流となっているが、微小角度の回転が繰り返されることで、油膜が形成されにくく、且つ、グリース潤滑では潤滑剤が塊となって存在することから、内・外輪の軌道面と転動体との接触面からグリースが掻き出されて、局所的な潤滑不良を生じ、この結果、フレッチング摩耗を発生して軸受寿命が低下しやすい。

【0004】更に、グリースの攪拌抵抗により回転トルクが大きくなり、また、グリースの封入形態が一樣でないために潤滑が均一に行われなことから、トルク変動が助長されることもある。しかも、グリースが軸受から飛散して、使用環境を汚染するという問題を抱えている。このようなトルクの増大や、使用環境の汚染は、ヘッドの損傷や読み取りおよび書き取りエラーが発生する原因となる。

【0005】一方、スピンドルモータ用の玉軸受は、HDDで要求される音響特性や騒音性能が特に厳しい。従来、軸受鋼製の軌動輪は、残留オーステナイト量

( $\gamma_R$ )が8～12%程度であり、高精度な玉軸受では、組込みの際に生じる玉の乗り上げや衝撃荷重によって、応力が降伏強度の低い残留オーステナイト部分に集中することで、軌道面に微小な永久変形を生じ、この変形によって音響特性が劣化してしまうという問題点があった。

【0006】また、HDD装置に組込まれるこれらの玉軸受にあっては、内輪と軸が別体の場合には、内輪を軸

に組み付ける際に接着剤を使用することが多いが、これが防錆油と反応して接着強度を低下させたり、洗浄・脱脂時に防錆油が完全に除去されることで空気中の水分で発錆して、回転精度を低下させたり、装置の信頼性を低下させるケースが生じているため、マルテンサイト系のSUS440C等のステンレス鋼を使用するケースが多くなってきている。しかし、SUS440Cを使用した場合であっても軸受鋼を使用した場合と同様、残留オーステナイトが10%前後存在するために、音響特性が劣化してしまうという問題があった。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記グリース潤滑による問題を解決するために、グリース封入量の少量化することで対応しようとする、グリース充填量の減少によりフレッチング摩耗が発生し、更に軸受寿命が低下すると共に、逆に音響不良が発生し易いという問題点がある。

【0008】このような事情に鑑みて、グリースの代わりに潤滑油を軸受内部に直接注入した事例があるが、潤滑油を使用した場合には、所望の潤滑性を得るために比較的多量の潤滑油が必要となり、このことは、軸受内部から潤滑油が漏洩するといった問題が生じ易い。また、特開平8-326760号公報には、保持器に潤滑油を含浸させた例が開示されているが、この場合には、保持器自体を多孔質な材質で製造したり油を含み易い特殊な素材を用いる必要があり、軸受の製造コストの増大は避けられないばかりか、潤滑油のしみ出し量の制御が困難なため、軌道面等に供給される潤滑油量が過剰となったり、逆に潤滑油が不足して潤滑性が低下するなど、安定した潤滑条件が得られ難いという問題がある。

【0009】また、上記音響特性や騒音性能についての問題点を解決するため、従来にあっては、例えば特開平7-103241号公報に記載されているように、ステンレス鋼製の軌動輪の焼戻し温度を高くしたり、焼戻しを繰り返すことで残留オーステナイト量を減少させて、耐圧痕性を向上させ、音響特性を改善する事例が開示されている。

【0010】しかしながら、SUS440Cは内在する10 $\mu$ mを超える硬質な共晶炭化物に起因して、目標とする加工精度が得られ難く、もって音響性能が劣る傾向があった。

【0011】これに加え、近年、転がり軸受の使用環境がさらに厳しくなっており、ステンレス鋼でも耐食性が不足する環境下で使用されるケースが生じており、SUS440C鋼よりも高耐食な玉軸受用材料を選定する必要があるが生じている。

【0012】本発明は、上記のような問題点を考慮しつつなされたもので、封入する潤滑剤を少量化しても耐フレッチング摩耗特性の劣化を抑え、更には耐フレッチング摩耗特性の向上を図ることができる転がり軸受の提供

を課題としている。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の転がり軸受は、内輪と外輪の間に転動体が介装されて構成される転がり軸受において、軌動輪表面における少なくとも軌道面、及び転動体表面の少なくとも一方に対し、酸化チタン層を形成したことを特徴とするものである。

【0014】本発明者らは、潤滑方法としてグリースを使用せずに潤滑油を使用し、更に潤滑油の大幅な少量化により低発塵化を図れ、且つ潤滑油の少量化に伴う耐フレッチング摩耗特性の低下の抑制を目的として、少量の潤滑油でも高い潤滑性が得られる表面処理膜を検討した結果から、超親油表面等が得られる酸化チタンに着目してなされたものである。

【0015】そして、本願発明においては、転動体表面の少なくとも軌道面及び軌動輪表面の少なくとも一方に酸化チタン層を形成することにより、極微量の潤滑油で高い潤滑性が発揮されて、耐フレッチング摩耗特性が向上する。

【0016】さらに、鋭意検討した結果、上記酸化チタン層は、アナターゼ型酸化チタン層が好ましく、その膜厚を0.3~5 $\mu$ m、より好ましくは0.5~3 $\mu$ mとすることにより、確実に、極微量の潤滑油で高い潤滑性を発揮し、耐フレッチング摩耗特性を向上させることを確認した。

【0017】また、ルチル型酸化チタン層であっても、超親油作用の効果が無いものの、0.5~20 $\mu$ mの膜厚とすることで、効果的に耐フレッチング摩耗特性の向上を図ることができることを確認した。なお、ルチル型酸化チタン層の場合には、対象とする軌道輪や転動体の素材は、主にチタン合金となる。

【0018】さらに、本発明者らは、耐食性向上の観点から、軌動輪の素材として、高い耐食性を有するチタン合金に着目した。しかし、チタン合金は耐摩耗特性に劣り、特にHDD装置用の軸受に使用する際には耐フレッチング摩耗が生じ易い。そこで、表面処理により潤滑性を向上させ、耐フレッチング性を改善することを目的として、鋭意研究を重ねて以下の結果を得た。

【0019】すなわち内輪、外輪および転動体から構成される転がり軸受において、軌動輪をチタン合金で形成することにより耐食性、耐圧痕性を向上させ、更に軌動輪の表面に上述のような酸化チタン層を形成することにより、極微量の潤滑油で高い潤滑性を発揮し、耐フレッチング摩耗特性を向上させられることを見いだした。

【0020】ここで、軌道輪をチタン合金とした場合について補足する。チタン合金は、金属の中でも特に耐食性に優れる材料であり、ステンレス鋼よりも耐食性が高い。

【0021】また、チタン合金は、ヤング率が鋼の約半

分であるため、転がり軸受に衝撃荷重が作用した際に、軌動輪と転動体の接触部で微小変形が生じる。しかし、同じ衝撃荷重であれば、軌動輪に対しヤング率の小さい材料（チタン合金）を使用することで、接触部の弾性変形量が大きくなるため、接触部における面圧が低下する。すなわちチタン合金を軌動輪に使用することにより、軌動輪に軸受鋼やステンレス鋼を使用した場合に比較して、接触部での応力が緩和される。この結果、圧痕が生じ難くなり、微小圧痕の形成による音響特性の劣化を防止することができる。

【0022】軌動輪に使用するチタン合金の種類としては、降伏応力が高い、 $\alpha + \beta$ 型、又は $\beta$ 型合金が望ましい。特に、チタン合金の中でも高強度でかつ冷間加工性に優れる $\beta$ 型チタン合金が好適である。

【0023】次に、本発明における酸化チタン層の作用について補足する。酸化チタンの化学組成は、結合する酸素の数によって多種多様に变化するが、本発明に係る酸化チタンの化学量論組成は $TiO_2$ で示され、更に $TiO_2$ は主にルチル型とアナターゼ型の2種類が存在する。

【0024】軌道輪や転動体の素材にチタン合金を用いた場合、一般には、大気酸化法と陽極酸化法の二種類があるが、大気酸化法ではルチル型の酸化チタンが優先的に形成され、陽極酸化法ではアナターゼ型酸化チタンが形成される。

【0025】ここで、アナターゼ型酸化チタンは、光触媒活性作用を有する材料であることが近年明らかになり、注目を集めている。光触媒作用とは、酸化チタン表面に400nm以下の紫外線が照射されると表面状態が変化し、油に対して非常に親和力の高い、いわゆる超親油性表面を形成する作用である。

【0026】光を照射することにより表面が超親油性となる機構についてはいまだ明らかにされていないが、短時間の光の照射によって光触媒反応が生じて油をほとんどはじかない表面が形成される。すなわち、光を照射した酸化チタン層表面では、油との接触角がほぼ $0^\circ$ となり潤滑油のぬれ性が著しく向上する。

【0027】本来、金属表面と潤滑油のぬれ性は理論上、比較的良好であるが、軌動輪および転動体の表面に種々の洗浄を施して表面を清浄にしても、実際には水分や洗浄によって除去されない有機化合物が吸着しているため、実際の表面での油とのぬれ性は良好ではなく、均一な潤滑膜を形成するのに必要な潤滑油の量は、必然と増加してしまう。

【0028】これに対して、本願発明に基づき、超親油性を示すアナターゼ型酸化チタン層を軌動輪等の摺動面（転動面）に形成することにより、従来の鋼製の軌道輪等の表面に直接潤滑油を塗布した場合と比較して、潤滑油のぬれ性が大幅に向上する。この結果、軌動輪と転動体の表面に均一な油膜が瞬時に形成されるため、HDD

スイングアーム軸受のような微小角度の揺動回転でも油膜切れが生じず、フレッチング摩耗特性が向上する。

【0029】更にまた、ぬれ性が向上するため、大幅に潤滑油量を減じることができて、潤滑油の漏洩や飛散が抑えられ、記録媒体等への汚染を防止できる。ここで、酸化チタン表面における超親油面の形成は、光の照射があつて初めて達成されるが、光の照射を止めた場合であっても、直ちに超親油状態が失われるわけではなく、その効果はしばらく持続する。そして、時間の経過にともない効果が減衰するが、その減衰の挙動はゆるやかであり、また再度光を照射することにより、超親油状態を再生することができる。

【0030】すなわち、アナターゼ型で酸化チタン層を形成した場合における、本願発明の転がり軸受は、連続的若しくは断続的に軸受に光が当たる環境下で使用される装置に好適となる。

【0031】一方、ルチル型の酸化チタンは、光触媒反応による超親油表面を形成しない。しかし、アナターゼ型酸化チタン自体の耐摩耗特性は高くないのに対して、ルチル型酸化チタンは、酸化層自体の耐摩耗特性、耐焼付性が高いため、ルチル型の酸化チタン層を形成することで、微量の潤滑油であっても耐フレッチング性が向上し、HDDスイングアーム軸受のような微小角度の揺動回転でも好適に使用することができる。

【0032】以上のように、いずれの型の酸化チタン層を採用しても、耐フレッチング摩耗特性を向上させることが可能である。但し、軌道輪や転動体の素材にチタン合金を用いた場合、ルチル型は、一般に大気中で高温に加熱して表面を酸化させて得るために、長時間の加熱保持では、軸受部品の素材の組織が変化する場合があり、また膜厚の制御が難しい。これに対して、アナターゼ型は主に陽極酸化法で得られ、加熱を必要としないため、酸化チタン層を形成する際に母材がチタン合金の場合であっても組織の変化を生じることがない。この点から、アナターゼ型の酸化チタンの方が好ましい。

【0033】また、後述するように、アナターゼ型酸化チタンは、金属に対して容易に且つ均一に皮膜処理が可能であるので、軌道輪等の素材としてチタン合金である必要はなく、鋼製やセラミック製等であっても良く、また、鋼製であっても特に鋼種に限定されない。

【0034】また、アナターゼ型酸化チタン層の場合には、処理条件を調整することで表面性状を、平滑面或いは多孔質面にするなど所望性状に制御することが可能となる。例えば、チタン層の表面状態をポーラス状に形成すると、触媒反応面積が増大して超親油状態を形成し易くなると共に、ポーラス部分に潤滑油が溜り、潤滑性が一層、向上して耐フレッチング摩耗特性が高まる。

【0035】もっとも、上述のように、軌道輪等の素材をチタン合金とすることで、さらに耐食性や音響特性上有利な転がり軸受となる。また、酸化チタン層の厚さに

ついては、アナターゼ型酸化チタン層の場合、膜厚が $0.3\mu\text{m}$ より薄い場合には、光触媒反応が十分に行われずに超親油状態にならないため、 $0.3\mu\text{m}$ 以上が好ましい。一方、膜厚が $5\mu\text{m}$ 以上では光触媒反応が頭打ちとなり、更に軌道輪との酸化チタン膜の界面強度が著しく低下して、酸化チタン膜が剥離してその効果を発揮できない(表2及び表3参照)。

【0036】したがって、アナターゼ型の酸化チタン層とした場合における膜厚は、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $5\mu\text{m}$ 以下、望ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

【0037】一方、ルチル型の酸化チタン層とした場合には、膜厚が $0.5\mu\text{m}$ 以下だと耐フレッチング性向上の効果が小さく、 $20\mu\text{m}$ 以上ではその効果が飽和してしまう。更に、大気酸化処理では酸化チタン層厚さが不均一になりやすいため、膜厚が厚すぎると精度が低下する(表2及び表3参照)。

【0038】したがって、ルチル型の酸化チタン層とした場合には、膜厚を $0.5\mu\text{m}$ 以上 $20\mu\text{m}$ 以下とすることが望ましい。

【0039】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施の形態を説明する。なお、軸受部品の素材として鋼製の場合で説明する。

【0040】従来の軌道輪等の軸受部品の製造と同様な熱処理を加えて、軌道輪を製造する。例えば、SUJ2の軌道輪素材や転動体素材に対して、焼入れ硬化を行い、硬さがHRC61～63の軌道輪、転動体を製造する。

【0041】次に、研磨後、アナターゼ型チタンのゾル又は粉末からなるコーティング剤の浴中に浸漬、引き上げを行い(ディップ法)、 $60\sim 120^\circ\text{C}$ で乾燥させて、所定の膜厚のアナターゼ型酸化チタン層を形成する。

【0042】上記膜厚は、 $0.3\sim 5\mu\text{m}$ となるように、浴からの引き上げ速度を調整する。上記のようにして、表面にアナターゼ型酸化チタン層を形成した軌道輪、転動体を組み付けて転がり軸受を作製する。このとき、微量の潤滑油を潤滑剤として塗布する。

【0043】上記軸受にあつては、適宜、光(自然光等)が当たる環境下で使用するにより、或いは適宜、光(自然光等)を当てることで、軌道輪と転動体の接触面が、超親油性により潤滑油の濡れ性が大幅に向上し、微量の潤滑油であっても、軌道輪と転動体の表面に均一な油膜が瞬時に形成される。つまり、潤滑剤としてグリースの代わりに潤滑油を使用しても、当該潤滑油が微量で良く且つ均一な油膜が瞬時に形成されて、油膜切れが回避されて、耐フレッチング摩耗特性が向上する。

【0044】このとき、潤滑剤として潤滑油を使用して

も、微少量の添加であるので、潤滑油の漏洩や飛散が抑えられる。さらに、潤滑油による油膜が均一に形成されることで、グリース潤滑で従来問題となった、高速回転時のトルク変動も抑止される。

【0045】ここで、上記実施形態では、転動体と軌道輪の両方にアナターゼ型酸化チタン層を形成した場合を例に説明しているが、一方の軸受部品だけにアナターゼ型酸化チタン層を形成してもよい。また、軌道輪にアナターゼ型酸化チタン層を形成する場合には、軌道面のみに形成するようにしても良い。

【0046】アナターゼ型酸化チタンの原料には、有機系と無機系の2種類がある。有機系は塗布後、焼成して成膜するが、焼成温度が400～800℃と高く、軌道輪、転動体が軟化するため不適である。

【0047】一方、無機系のアナターゼ型チタンは、粉末又はゾルであり塗布後、60～120℃の低温で乾燥して成膜するため、好適である。塗布法としては、ディップ法、スピンコート法、スプレー法等があるが、簡便性と量産性からディップ法が好適である。

【0048】また、上記説明では、アナターゼ型酸化チタンコーティング剤を塗布・乾燥してアナターゼ型酸化チタン層を形成した場合を例に説明しているが、ルチル型の酸化チタンコーティング剤を塗布・乾燥してルチル型酸化チタン層を形成してもよい。

【0049】この場合には、超親油性の効果は得られないものの、ルチル型酸化チタン層によって表面の耐フレッチング摩耗特性を向上させることができる。さらに、転動体及び軌道輪の素材をチタン合金、特にβ型又はα+β型のチタン合金で作製することで、耐食性及び耐圧痕性が向上して、音響特性及び騒音性能が厳しい、スピンドルモータ用の転がり軸受の好適な軸受になると共に、その表面が酸化チタン層で保護されて、上述の微少量の潤滑油による高い潤滑性の確保や、耐フレッチング摩耗特性の向上が図られる。

【0050】ここで、上記チタン合金からなる軌道輪などは、例えば、次のようにして形成する。即ち、β型又はα+β型のチタン合金からなる素材について、冷間ローリング処理を施し時効処理を行い、続いて（旋削）研削して、所定の形状に成形した後に、上述の陽極酸化または大気酸化法により酸化チタン膜を形成する。

【0051】

【実施例】次に、本発明に基づき形成された転がり軸受についての実施例を説明する。以下に説明する各実施例で使用するグリース及び潤滑油の種類、潤滑油量は、次の通りである。

【0052】

グリース：リチウム－合成油系グリース

潤滑油：エステル油

潤滑油量：軸受空間容積に対し、0.3%、0.5%、1%、5%注入する。

【0053】また、下記実施例における揺動耐久試験は、次の条件で行ったものである。

揺動周波数：30Hz

外輪揺動：8°

アキシャル荷重：29.4N

揺動繰り返し回転数：500万回転

雰囲気温度：常温

そして、揺動試験後に軸受を分解し、内輪及び外輪の摩耗状態を観察し、内輪軌道面、外輪軌道面の摩耗深さを測定した。

【0054】また、下記実施例における発塵試験は、次の条件で行ったものである。即ち、密封された容器中で軸受外輪を7200rpmで回転させ、その際に発生する塵の数をアウトパーティクルカウンタで測定し発塵量としたものである。

【0055】発塵量は0.1cf（立方フィート）中に存在する粒径0.1μm以上の塵の数をカウントし、一時間経過した時点での発塵量を個数で判定した。また、下記実施例におけるトルク試験は、次の条件で行ったものである。

【0056】即ち、トルク性能は、軸受内部に規定量の潤滑油を注入し、9.8Nのアキシャル荷重を付与した状態で回転装置により内輪を2rpmで回転し、その回転初期に要するトルクおよびトルク変動を測定したものである。

【0057】次に、本発明の第1の実施例を図面を参照しつつ説明する。本実施例は、鋼製の軸受部品表面について、本発明に基づくアナターゼ型酸化チタン層を形成することによる、潤滑性向上及び耐フレッチング摩耗特性向上に関する作用・効果を確認するための実験についてのものである。

【0058】ここで、試験軸受としてSR1810を作製し、軌道輪および転動体はSUJ2を使用した。そして、表1に示すような膜厚で、アナターゼ型酸化チタン層を軌道輪に形成した本発明に基づく転がり軸受（a～f）を用意すると共に、比較のために酸化チタン層を軌道輪に形成しない転がり軸受（g～i）を用意した。

【0059】そして、油潤滑とし、潤滑油量の影響を見るため、表1に示した種々の潤滑油量で実験をおこなった。

【0060】

【表1】

	記号	潤滑油量 (空間容積比)	酸化チタン層の有無		処理層厚さ ( $\mu\text{m}$ )
			軌動輪	転動体	
実施例	a	0.3%	○	—	1.22
	b	0.5%	○	—	1.19
	c	1%	○	—	1.22
	d	2%	○	—	1.18
	e	3%	○	—	1.19
	f	5%	○	—	1.20
比較例	g	0.3%	—	—	1.22
	h	0.5%	—	—	1.19
	i	1%	—	—	1.22
	j	2%	—	—	1.18
	k	3%	—	—	1.19
	l	5%	—	—	1.20

【0061】上記揺動耐久試験を、上記各軸受について、表1に示した種々の潤滑油量で行い、揺動試験後の摩耗深さを調べたところ、図1に示すような、潤滑油量と揺動試験後の摩耗深さの関係を得た。図1中、○が本発明に基づく実施例の軸受であり、○が比較の軸受のものである。

【0062】図1から分かるように、軌道輪表面に酸化チタン皮膜処理を施さない比較例g～lの場合には、潤滑油量が軸受空間容積に対し1%以上のときには摩耗深

さは浅く、耐フレッチング摩耗特性が高いが、注入量が1%より小さいと潤滑性が十分得られなくなり、急激に摩耗深さが増加している。つまり、潤滑油量を軸受空間容積比で1%以上供給する必要がある。

【0063】これに対し、酸化チタン層が形成した本発明の実施例a～fでは、超親油性の発現に伴う油膜形成能の向上により、潤滑油量に関係なく、軸受空間容積比で1%以下の少ない潤滑油量でもフレッチング摩耗特性が向上しており、潤滑性が著しく向上しているのが分かる。つまり、本願発明に基づく転がり軸受では、潤滑剤に潤滑油を使用し、且つ、その供給量が微小（軸受空間容積比で1%以下）であっても、フレッチング摩耗特性上、問題がないことが分かる。

【0064】次に、酸化チタン層の処理膜の厚さの違いによる効果の違いを調査すべく、表2に示すような、酸化チタン層の条件及び潤滑条件の種々の軸受を用意して、揺動試験後の摩耗深さ、発塵量、回転トルクとトルク変動値を調べた。なお、酸化チタン層は、アナターゼ型である比較例については、潤滑方法の一部をグリース潤滑としてある。

【0065】その結果を、表2中に示す。

【0066】

【表2】

		潤滑油量 (軸受空間容積比)	酸化チタン層の有無		処理層厚さ ( $\mu\text{m}$ )	摩耗深さ ( $\mu\text{m}$ )	発塵性能 (個/0.1 $\text{cm}^2$ )	回転トルク及び トルク変動(gf $\cdot\text{cm}$ )
			軌動輪	転動体				
実施例	1	0.3%	有	無	1.24	0.15	30以下	0.4 $\pm$ 0.1
	2		無	有	1.19	0.17	30以下	0.4 $\pm$ 0.1
	3		有	有	1.22	0.18	30以下	0.4 $\pm$ 0.1
	4	0.5%	有	無	1.18	0.13	50以下	0.5 $\pm$ 0.1
	5		無	有	1.19	0.12	50以下	0.4 $\pm$ 0.1
	6		有	有	1.20	0.16	50以下	0.4 $\pm$ 0.1
	7	0.5%	有	無	0.30	0.15	50以下	0.5 $\pm$ 0.1
	8		有	無	2.54	0.15	50以下	0.5 $\pm$ 0.2
	9		有	無	3.80	0.21	50以下	0.4 $\pm$ 0.1
	10		有	無	5.00	0.22	50以下	0.5 $\pm$ 0.1
比較例	1	0.5%	無	無	—	0.58	90～110	0.7 $\pm$ 0.2
	2	2%			—	0.24	100～120	0.5 $\pm$ 0.1
	3	10%			—	0.25	100～120	0.5 $\pm$ 0.1
	4	グリース	無	無	—	0.75	140～160	0.8 $\pm$ 0.25
	5	0.5%	有	無	1.23	0.52	130～150	0.7 $\pm$ 0.25
	6		有	有	0.25	0.43	70～80	0.6 $\pm$ 0.2
	7		有	有	5.52	0.52	90～110	0.7 $\pm$ 0.2

【0067】この表2から分かるように、軌道輪および転動体のいずれにも酸化チタン皮膜がない比較例1～3に着目すると、比較例2及び3のように、潤滑油量が軸受空間容積比2%（比較例2）、10%（比較例3）と潤滑油量が十分な場合には、耐摩耗特性は良好で、トルク変動値も小さいものの、発塵量が本発明の実施例に比べかなり多い。これは潤滑性を確保するために潤滑油量が多くする必要があり、軸受の回転時に油の飛散が多く

なったためである。この場合、飛散した油がHDD記録媒体を汚染する可能性があり、HDD装置の軸受には不適当となる。更に比較例1のように潤滑油量が少なくなると、潤滑性が低下し、耐フレッチング摩耗特性、発塵性が低下してしまうことが分かる。

【0068】また、グリース潤滑を施した比較例4、5に着目すると、軌道輪に酸化チタン層処理を施した比較例5では、酸化チタン層の超親油作用により、油潤滑同



様に潤滑膜が形成されやすくなり、潤滑性が向上して比較例4と比較して摩耗深さは小さくなる。しかし、前述したようにグリース潤滑の場合は攪拌抵抗によりトルク変動が大きくなるのは避け難く、発塵量も油潤滑と比較すると多いために、要求が厳しいHDDスイングアーム用軸受には不適當となる。

【0069】また、比較例6～7に示すように、軌道輪に酸化チタン皮膜処理を施しても、膜厚が0.3  $\mu\text{m}$ より薄いか5.0  $\mu\text{m}$ よりも厚くなると、摩耗深さ、発塵量、回転トルクがいずれも大きくなっているのが分かる。

【0070】これは、比較例6の場合、酸化チタン層の厚さが0.3  $\mu\text{m}$ 以下と光触媒反応が生じるには厚さが不足し、表面が超親油状態にならないため、潤滑性が低下したと考えられる。

【0071】一方、比較例7の場合は、酸化チタン層の厚さが5  $\mu\text{m}$ 以上と厚いため、酸化チタン層と軌道輪の界面の強度が低下し、酸化チタン層が剥離をおこして潤滑性が著しく低下したと考えられる。

【0072】これに対して本発明に基づく実施例では、特に潤滑油量が少ない場合であっても、アナターゼ型酸化チタン層の超親油作用により優れた潤滑性を発揮し、発塵量、回転トルク、摩耗深さが減少し、その効果は明らかである。

【0073】また、実施例1、2、4、5、7～10の結果から分かるように、酸化チタン層は必ずしも軌道輪、転動体の両方に施す必要はなく、軌道輪あるいは転動体のいずれか一方のみに酸化チタン層を施すだけでも、良好な効果を得る。

【0074】また、実施例7～10のように酸化チタン層の厚さを変えた場合、処理層の厚さが0.3  $\mu\text{m}$ 以上5  $\mu\text{m}$ 以下の範囲であれば、超親油作用を発揮し、いずれの処理層厚さにおいてもその効果は変わらないことが分かる。

【0075】次に、第2の実施例を図面を参照しつつ説明する。本実施例は、軌道輪素材をチタン合金とし、その表面に酸化チタン層を形成した場合における、潤滑性向上や耐フレッチング摩耗特性向上等に関する効果を確認するためのものである。

【0076】試験軸受としてSR1810を作製し、軌道輪の材料としては、Ti-15Mo-5Zr合金( $\beta$ 型チタン合金)、SUS440C、及びSUJ2の3種類を使用した。そして、表3に示す軌道輪材料、潤滑条件、酸化チタン層条件の各種の軸受を用意して試験を行った。なお、一部の軸受の潤滑方法にはグリースを採用した。

【0077】

【表3】

番号	試料名	潤滑油圧 (油受空間容積比)	酸化チタン層の有無 形状	処理厚さ ( $\mu\text{m}$ )	摩耗深さ ( $\mu\text{m}$ )	発塵性 (個/0.1cd)	回転トルク及び トルク変動( $\text{gf}\cdot\text{cm}$ )	塩水噴霧 試験結果
1	Ti-15Mo-5Zr	0.3%	アナーゼ型	1.24	0.18	30以下	$0.4 \pm 0.1$	○
2		0.5%	↑	1.18	0.17	50以下	$0.5 \pm 0.15$	○
3		↑	↑	0.30	0.19	50以下	$0.5 \pm 0.1$	○
4		↑	↑	2.54	0.18	50以下	$0.5 \pm 0.1$	○
5		↑	↑	3.80	0.23	50以下	$0.4 \pm 0.1$	○
6		↑	↑	5.00	0.25	50以下	$0.5 \pm 0.1$	○
7		0.3%	ルチル型	5.25	0.23	50以下	$0.5 \pm 0.1$	○
8		0.5%	↑	1.89	0.24	50以下	$0.4 \pm 0.1$	○
9		↑	↑	9.85	0.21	50以下	$0.5 \pm 0.1$	○
10		↑	↑	20.00	0.20	50以下	$0.4 \pm 0.1$	○
11		↑	↑	0.50	0.23	50以下	$0.5 \pm 0.1$	○
1	Ti-15Mo-5Zr	0.5%	無	-	1.21	90~110	$0.7 \pm 0.2$	○
2		1.0%	↑	-	1.03	80~100	$0.5 \pm 0.15$	○
3		5.0%	↑	-	0.85	80~100	$0.5 \pm 0.15$	○
4		グリース	無	-	1.85	140~160	$0.8 \pm 0.25$	○
5		↑	アナーゼ型	2.38	0.75	130~150	$0.7 \pm 0.2$	○
6		0.50%	↑	0.25	1.00	70~80	$0.6 \pm 0.2$	○
7		↑	↑	5.52	0.48	90~110	$0.7 \pm 0.2$	○
8		0.5%	ルチル型	0.41	0.72	70~80	$0.6 \pm 0.2$	○
9		↑	↑	22.10	0.24	50以下	$0.5 \pm 0.2$	○
10	SUS440C	0.50%	無	-	0.54	80~100	$0.7 \pm 0.2$	△
11	SUJ2	↑	↑	-	0.65	80~100	$0.7 \pm 0.2$	×

【0078】ここで、Ti-15Mo-5Zr合金軌動輪表面の酸化処理は、陽極酸化法および大気酸化処理の2種類で行い、アナーゼ型酸化チタン層、ルチル型酸化チタン層の両方を形成した軸受を用意して評価を行なったものである。

【0079】また、第1の実施例とは異なり、上述の試験とは別に、耐食性を確認するため、軌動輪について塩水噴霧試験を行なった。その塩水噴霧試験は、温度35℃の5%NaCl水溶液を150時間、連続して噴霧することで行い、試験後の供試片の腐食生成物を除去後、重量変化を測定することで、腐食速度をmm/年で評価

した。

【0080】なお、評価基準としては、0.13mm/年以下の場合を○、0.13~1.3mm/年の場合を△、1.3mm/年以上場合を×とした。揺動試験後の摩耗深さ、発塵量、回転トルクとトルク変動および塩水噴霧試験結果を、上記表3中に示す。

【0081】この表3から分かるように、軌道輪に酸化チタン皮膜を施さない比較例1~3に着目すると、潤滑油量が小さい比較例1及び2の場合、揺動摩耗試験後の摩耗深さは大きく、発塵量、トルク変動値も高いことが分かる。また、潤滑油量を増加した比較例3は、潤滑性

が改善され、摩耗深さは若干量小さくなるものの、チタン合金自体の耐摩耗特性が低いために、摩耗深さは相対的に大きく、発塵量が多いためHDD用軸受に使用した場合に、記録媒体を汚染する可能性がありHDD用軸受として不適当となる。

【0082】また、グリース潤滑を採用した比較例4及び5に着目すると、酸化チタン層処理を施した比較例5は、酸化チタン層の超親油作用により、油潤滑同様に潤滑膜が形成されやすくなり、潤滑性が向上して、酸化チタン層がない比較例4と比較して摩耗深さは小さくなる。しかし、前述したようにグリース潤滑の場合は攪拌抵抗によりトルク変動が大きくなるのは避け難く、発塵量も油潤滑と比較すると多いため、要求が厳しいHDDスイングアーム用軸受には不適当である。

【0083】また、軌道輪にアナターゼ型酸化チタン皮膜処理を施した比較例6及び7に着目すると、アナターゼ型酸化チタン皮膜処理を施しているにもかかわらず、摩耗深さ、発塵量、回転トルクがいずれも大きい。これは、比較例6の場合、酸化チタン層の厚さが $0.3\mu\text{m}$ 以下と光触媒反応が生じるには厚さが不足し、表面が超親油状態にならないため、潤滑性が低下したと考えられる。一方、比較例7は、アナターゼ酸化チタン層の厚さが $5\mu\text{m}$ 以上と厚いため、酸化チタン層と軌道輪の界面の強度が低下し、酸化チタン層はく離をおこして潤滑性が著しく低下したためと考えられる。

【0084】また、軌道輪にルチル型酸化チタン皮膜処理を施した比較例8及び9に着目すると、比較例8は酸化チタン層の厚さが $0.5\mu\text{m}$ 未満であるため、耐摩耗特性が低下し、摩耗深さ、発塵量、回転トルクがいずれも大きい。比較例9の場合、酸化チタン層の厚さが $20\mu\text{m}$ を超えるため、耐摩耗特性は向上して摩耗深さは減少しているが、皮膜層厚さに不均一が生じて精度が低下し、トルク変動が若干大きくなるため不適である。

【0085】また、軌道輪材料にSUJ2、SUS440Cを使用した比較例10及び11に着目すると、潤滑油が少ない場合には耐フレッチング性が低下し、摩耗深さ、発塵量、回転トルクが増大し、また塩水噴霧試験の結果から耐食性も低いことが分かる。

【0086】一方、アナターゼ型酸化チタン皮膜処理した、本発明に基づく実施例1～6の場合には、処理膜を $0.3\sim 5\mu\text{m}$ に規制することで、潤滑油量が少ない場合であっても、酸化チタン層の超親油作用により優れた潤滑性を発揮し、発塵量、回転トルク、摩耗深さが減少していることが分かる。

【0087】また、ルチル型酸化チタン皮膜処理を施した、本願発明に基づく実施例7～11の場合には、処理膜を $0.5\sim 20\mu\text{m}$ の厚さに規制することで、軸受部品の素材をチタン合金としても、ルチル型酸化チタン皮膜により耐摩耗特性が著しく向上し、しかも、発塵量、回転トルク、摩耗深さが減少しており、その効果は明ら

かである。また、塩水噴霧試験の結果も本発明の実施例はいずれも良好で、耐食性も高くなっている。

【0088】次に、上述のように軌道輪素材としてチタン合金を使用し表面に酸化チタン層を形成した場合における、耐衝撃性、耐荷重性の向上に関する実験を行なった。即ち、図2に示すようなスピンドルモータの玉軸受3として玉8に予圧を加えた状態で組込み、このスピンドルモータごと落下させることで衝撃荷重を加えて行ったものである。衝撃荷重としては、10、13、15、17、20、及び $25\text{kgf}$ の6通りで行い、各衝撃荷重を加える前後における音響特性の劣化の度合い（騒音の上昇）を測定したものである。なお、図2中、符号1は軸を、符号2はスリーブを、符号4は内輪軌道を、符号5は内輪を、符号6は外輪軌道を、符号7は外輪を表している。

【0089】この試験の結果を図3に示す。ここで、本実施例の軸受は、上記表3における実施例7に対応するものであり、Ti-15Mo-5Zr合金軌道輪表面に大気酸化処理によりルチル型酸化チタン層を形成させたものである。また、図3中の比較例イ～ニは、軌道輪にSUS440Cを使用した場合で、焼戻し温度をかえて、残留オーステナイト量を12%（比較例イ）、8%（比較例ロ）、6%（比較例ハ）、及び0%（比較例ニ）とそれぞれ設定したものである。

【0090】比較例に着目すると、SUS440Cを軌道輪に使用し残留オーステナイトが残存している場合には、耐圧痕性に劣るため、衝撃荷重が大きくなると音圧の上昇が著しいが、残留オーステナイト0%（比較例ニ）にすると、音圧の上昇は生じなくなる。

【0091】これに対し、軌道輪素材をチタン合金として本発明に基づく酸化チタン層を形成した実施例では、衝撃荷重の大きさに影響を受けることなく、音圧レベルがどの衝撃荷重であっても低くなっている。これは、ヤング率の小さいチタン合金を使用しているため、衝撃荷重が増大しても局所的な応力集中が起こらないために、耐圧痕性が向上して音圧の変化は生じないためである。

【0092】更に、本発明に基づく軸受は、軌道輪にSUS440Cを用いて残留オーステナイト量を0%にした場合に比較しても音圧レベルが相対的に低くなることが分かる。これは、SUS440Cには $10\mu\text{m}$ を超える粗大な共晶炭化物が多数残存しているために基底と炭化物との間に摩耗差が生じ、接触部で炭化物の干渉して音圧が高くなってしまふのに対して、本発明に基づく軸受は、酸化チタン層を形成しているために、局所的な摩耗差がなく、SUS440Cのような硬い析出物同士の干渉が生じないために音圧値が相対的に低くなる。従って、本発明に係る転がり軸受では、厳しい音響特性が要求されるHDDスピンドル用軸受の軌道輪として好適に使用することができることが分かる。

【0093】以上のように、軌道輪に鋼よりもヤング率

の小さいチタン合金を使用することで、衝撃荷重が付与された際の耐圧痕性が向上し、且つ音響特性の劣化を抑制できる。さらに、軌動輪表面に酸化チタン層を特定範囲の厚さで形成することにより、耐フレッチング摩耗特性が向上する。油潤滑において大幅に潤滑油量を低減することができるため低発塵化が達成でき、要求が厳しいHDD用スイングアーム、スピンドル用軸受に好適な軸受となる。

【0094】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の転がり軸受を採用すると、酸化チタン膜がアナターゼ型の場合にあっては、適宜、紫外線を含む光が当てられる環境下や適宜、紫外線を含む光を照射するだけで、軌動輪あるいは転動体の少なくとも一方に超親油表面を得ることができて、潤滑剤として潤滑油が使用できると共に当該潤滑油が極微量であっても高い潤滑性が得られることで、耐フレッチング摩耗特性が向上する。また、酸化チタン膜がルチル型であっても、光の照射の有無に関係なく、少なくとも耐フレッチング摩耗特性が向上する。

【0095】このように、本願発明を採用すると、トル

ク変動が生じ易いグリース潤滑の代わりに油潤滑を採用しても、大幅に潤滑油量を低減することができて、低発塵化が達成できるばかりか、耐フレッチング摩耗特性が向上する。

【0096】これにより、例えば、HDD用スイングアーム軸受等に好適な軸受を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例における、揺動摩耗試験後の摩耗深さと潤滑油量との関係を示す図である。

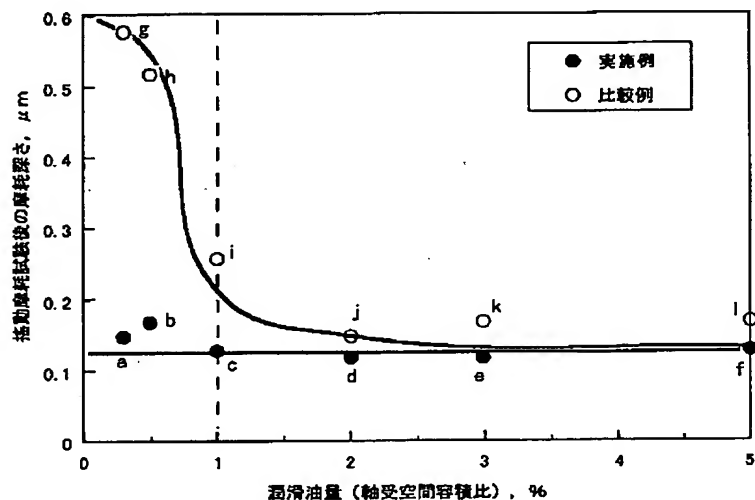
【図2】本発明の第2の実施例における、耐衝撃性、耐荷重性を試験する際に適用するスピンドルモータを示す断面図である。

【図3】本発明の第2の実施例における、衝撃荷重の大きさと音圧レベルの関係を示す図である。

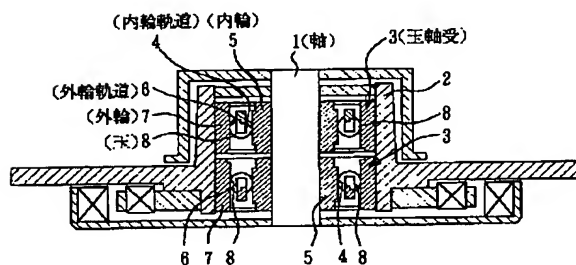
【符号の説明】

- 3 玉軸受
- 5 内輪
- 7 外輪
- 8 玉

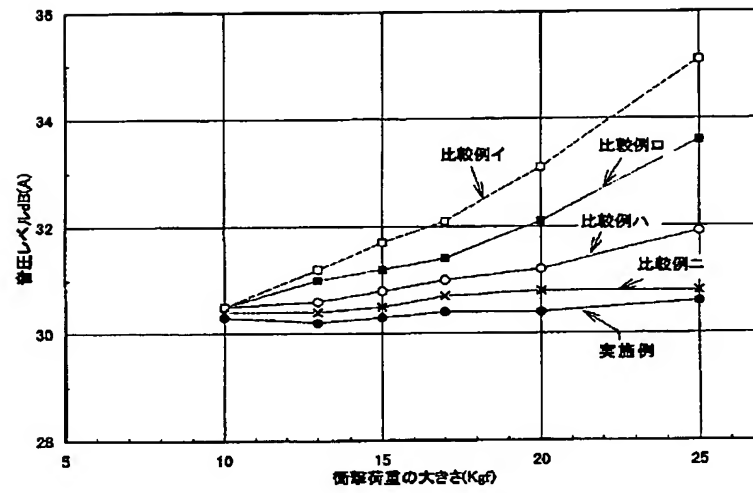
【図1】



【図2】



【図3】



## \* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to anti-friction bearing, and relates to the rocking portion of the actuator (especially swing arm) which is a part of component part of a hard disk drive (Following HDD is called), the bearing for spindle motors, and anti-friction bearing suitable as bearing used under the environment where light (natural light, sterilization light, etc.) hits periodically further like the centre plate of medical-application equipments, such as a dentistry instrument, or the centre plate of a food-processing device especially.

[0002]

[Description of the Prior Art] It is required that the rotation at high speed, the improvement in a sound property, rotation torque, and torque change of the spindle motor of HDD equipment or the bearing for swing arms should be more small in connection with power-saving of equipment, high responsibility, miniaturization, etc., and improvement in the further fretting-proof wear property and the further life is demanded.

[0003] It is that rotation of a minute angle is repeated although grease lubrication is in use in anti-friction bearing for HDD swing arms, and an oil film is hard to be formed, and since lubricant serves as a lump in grease lubrication and it exists, grease is raked out from the contact surface of the raceway surface of inside and an outer ring of spiral wound gasket, and a rolling element, lubricous [ local / poor ] is produced here, consequently fretting wear is generated, and a bearing life tends to fall.

[0004] Furthermore, since rotation torque becomes large by stirring resistance of grease, and the enclosure form of grease is not uniform and lubrication is not performed uniformly, torque change may be promoted. And grease disperses from bearing and it has the problem of polluting an operating environment. Increase of such torque and contamination of an operating environment become the cause which damage, and reading and a dictation error of a head generate.

[0005] On the other hand, the ball bearing for spindle motors has the sound property demanded by HDD, and especially a severe noise performance. Conventionally, by the highly precise ball bearing, the amount of retained austenites (gammaR) is about 8 - 12%, and \*\*\*\*\* made from a bearing steel was that stress concentrates on a retained-austenite portion with low yield strength with riding raising and the impact load of the ball produced in the case of a nest, it produced minute permanent deformation in the raceway surface, and had the trouble that a sound property will deteriorate by this deformation.

[0006] Moreover, if it is in these ball bearings included in HDD equipment Rusting is carried out with the moisture in air by this reacting with a slushing oil, and reducing a bond strength or a slushing oil being completely removed at the time of washing and degreasing, although adhesives are used in many cases in case it attaches centering on an inner ring of spiral wound gasket, when an inner ring of spiral wound gasket and a shaft are another objects. Since rotational accuracy is reduced or the case where the reliability of equipment is reduced has arisen, the cases which use stainless steel, such as SUS440C of a martensite system, are increasing in number. However, even if it was the case where SUS440C was used, as well as the case where a bearing steel is used since a retained austenite existed just over or below 10%, there was a problem that a sound property will deteriorate.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] If it is going to correspond because the amount of grease enclosure few-quantifies in order to solve the problem by the above-mentioned grease lubrication, while fretting wear will occur by reduction of a grease fill and a bearing life will fall further, there is a trouble of being easy to generate a poor sound conversely.

[0008] Although there is an example which poured the lubricating oil into the interior of bearing directly instead of grease in view of such a situation, when a lubricating oil is used, in order to obtain desired lubricity, comparatively a lot of lubricating oils are needed, and the problem that a lubricating oil is revealed from the interior of bearing tends to produce this. Moreover, although the example which infiltrated the lubricating oil into the cage is indicated by JP,8-326760,A It is necessary to use the special material which manufactures the cage itself with the porosity quality of the material, or is easy to contain an oil. control of the amount of exudation of about [ avoid ] and a lubricating oil increase of the manufacturing cost of bearing In this case, eye a difficult hatchet, There is a problem that the stable lubricous conditions are hard to be acquired -- the lubricous oil quantity supplied to a raceway surface etc. becomes superfluous, or a lubricating oil is conversely insufficient and lubricity falls.

[0009] Moreover, if it is in the former in order to solve the trouble about the above-mentioned sound property or a noise performance, tempering temperature of \*\*\*\*\* made from stainless steel is made high, or the amount of retained austenites is decreased by repeating annealing, indentation-proof nature is raised, and the example which improves a sound property is indicated as indicated by JP,7-103241,A, for example.

[0010] However, SUS440C originated in the hard eutectic carbide exceeding 10 micrometers inherent, and had the inclination for a target process tolerance to be obtained, to be hard and have, and for a sound performance to be inferior.

[0011] in addition, the case used under the environment where the operating environment of anti-friction bearing is still severer in recent years, and stainless steel also runs short of corrosion resistance -- being generated -- \*\*\*\* -- SUS440C steel -- quantity -- the anti-corrosion charge of ball bearing material will need to be selected

[0012] It was made this invention taking the above troubles into consideration, even if it few-quantifies the lubricant to enclose, it suppresses degradation of a fretting-proof wear property, and it is making the technical problem offer of anti-friction bearing which can aim at improvement in a fretting-proof wear property further.

[0013]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, anti-friction bearing of this invention is characterized by the thing in a \*\*\*\*\* front face in which the titanium oxide layer was formed, to either [ at least ] a raceway surface or a rolling body surface in anti-friction bearing with which a rolling element is infixed and constituted between an inner ring of spiral wound gasket and an outer ring of spiral wound gasket at least.

[0014] A small amount of lubricating oil is also made from the result which examined the surface treatment film with which high lubricity is obtained paying attention to the titanium oxide with which a super-lipophilic front face etc. is obtained for the purpose of suppression of a fall of the fretting-proof wear property which this invention persons use a lubricating oil, without using grease as the lubricous method, and can attain low raising dust-ization by few quantification with a still larger lubricating oil, and is followed on few quantification of a lubricating oil.

[0015] And in the invention in this application, by [ of a rolling body surface ] forming a titanium oxide layer at least in one side on a raceway surface and the front face of \*\*\*\*\* at least, high lubricity is demonstrated to the lubricating oil of a ultralow volume, and a fretting-proof wear property improves.

[0016] Furthermore, as a result of inquiring wholeheartedly, the above-mentioned titanium oxide layer had the desirable anatase type titanium oxide layer, and by setting more preferably 0.3-5 micrometers of the thickness to 0.5-3 micrometers, high lubricity was certainly demonstrated to the lubricating oil of a ultralow volume, and it checked raising fretting-proof wear \*\*\*\*.

[0017] moreover, although there was no effect of a super-lipophilic operation even if it was a rutile-type-titanium-dioxide layer, it checked that improvement which is a fretting-proof wear property effectively could be aimed at by considering as 0.5-20-micrometer thickness In addition, in the case of a rutile-type-titanium-dioxide layer, the material of the target bearing washer or a rolling element mainly becomes with a titanium alloy.

[0018] Furthermore, this invention persons paid their attention to the titanium alloy which has high corrosion resistance as a material of \*\*\*\*\* from a viewpoint on an anti-corrosion disposition. However, a titanium alloy is inferior to an antiwear characteristic, and in case it is especially used for the bearing for HDD equipments, fretting-proof wear tends to produce it. Then, lubricity was raised with surface treatment and the following results were wholeheartedly obtained for research in piles for the purpose of improving fretting-proof nature.

[0019] That is, by forming \*\*\*\*\* by the titanium alloy, by raising corrosion resistance and indentation-proof nature and forming the above titanium oxide layers on the surface of \*\*\*\*\* further, high lubricity was demonstrated to the lubricating oil of a ultralow volume, and it found out that a fretting-proof wear property was raised in anti-friction bearing which consists of an inner ring of spiral wound gasket, an outer ring of spiral wound gasket, and a rolling element.

[0020] Here, it supplements about the case where a bearing washer is made into a titanium alloy. Also in a metal, especially a titanium alloy is a material which is excellent in corrosion resistance, and its corrosion resistance is higher than stainless steel.

[0021] Moreover, since Young's modulus is the abbreviation half of steel, when an impact load acts on anti-friction bearing, infinitesimal deformation produces a titanium alloy in the contact section of \*\*\*\*\* and a rolling element. However, if it is the same impact load, since the elastic deformation of the contact section will become large by using material with small Young's modulus (titanium alloy) to \*\*\*\*\* , the planar pressure in the contact section falls. That is, by using a titanium alloy for \*\*\*\*\* , the stress in the contact section is eased as compared with the case where a bearing steel and stainless steel are used for \*\*\*\*\* . Consequently, it is hard coming to generate an indentation and degradation of the sound property by formation of a minute indentation can be prevented.

[0022] As a kind of titanium alloy used for \*\*\*\*\* , a alpha+beta type or beta type alloy with high yield stress is desirable. The beta titanium alloy which is high intensity also in a titanium alloy, and is excellent in cold-working nature especially is suitable.

[0023] Next, it supplements about an operation of the titanium oxide layer in this invention. The stoichiometric composition of the titanium oxide applied to this invention although the chemical composition of titanium oxide changes with the number of the oxygen to combine variously is TiO<sub>2</sub>. It is shown and is TiO<sub>2</sub> further. Two kinds, a rutile type and an anatase type, mainly exist.

[0024] Generally, when a titanium alloy is used for the material of a bearing washer or a rolling element, although there are two kinds, an air oxidation style and anodic oxidation, in an air oxidation style, rutile type titanium oxide is formed preferentially, and anatase type titanium oxide is formed by the anode oxidation method.

[0025] Here, that it is the material which has a photocatalyst activity operation becomes whether to be Toshiaki Kon et al., and anatase type titanium oxide attracts attention. A photocatalyst operation is an operation which a surface state will change if ultraviolet rays 400nm or less are irradiated by the titanium oxide front face, and forms the so-called super-lipophilic property front face where an affinity is very high to an oil.

[0026] Although not made still clear about the mechanism in which a front face serves as super-lipophilic property by irradiating light, the front face which a photocatalysis arises and hardly crawls an oil by irradiation of a short-time light is formed. That is, on

the titanium oxide layer front face which irradiated light, a contact angle with an oil becomes about 0 degree, and the wettability of a lubricating oil improves remarkably.

[0027] Since the organic compound removed neither by moisture nor washing in fact is adsorbing even if it performs various washing to the front face of \*\*\*\*\* and a rolling element and makes a front face pure, although the wettability of a surface of metal and a lubricating oil is originally comparatively good theoretically, the wettability with the oil in an actual front face will not be good, and the amount of a lubricating oil required to form uniform lubricating film will increase that it is necessary.

[0028] On the other hand, as compared with the case where a direct lubricating oil is applied to front faces, such as the conventional steel bearing washer, the wettability of a lubricating oil improves sharply by forming the anatase type titanium oxide layer which shows super-lipophilic property in sliding surfaces (rolling contact surface of rolling element), such as \*\*\*\*\* based on the invention in this application. Consequently, since a uniform oil film is formed in the front face of \*\*\*\*\* and a rolling element in an instant, an oil film piece does not arise but the fretting wear property of rocking rotation of a minute angle like HDD swing-arm bearing improves.

[0029] Furthermore, since wettability improves, lubricous oil quantity can be reduced sharply, disclosure and scattering of a lubricating oil are suppressed, and the contamination to a record medium etc. can be prevented again. Although it is attained here only after formation of the super-lipophilic side in a titanium oxide front face has irradiation of light, even if it is the case where irradiation of light is stopped, a super-lipophilic state is not necessarily lost immediately and the effect is maintained for a while. And although an effect declines in connection with the passage of time, the behavior of the attenuation is loose and a super-lipophilic state can be reproduced by irradiating light again.

[0030] That is, anti-friction bearing of the invention in this application at the time of forming a titanium oxide layer with an anatase type becomes suitable for the equipment used for bearing under the environment where light hits, continuously or intermittently.

[0031] On the other hand, rutile type titanium oxide does not form the super-lipophilic front face by the photocatalysis. However, to not being high as for the antiwear characteristic of anatase type titanium oxide itself, since the antiwear characteristic of the oxidizing zone itself and the antiseizure property of a rutile type titanium dioxide are high, by forming a rutile type titanium oxide layer, even if it is the lubricating oil of a minute amount, its fretting-proof nature can improve, and rocking rotation of a minute angle like HDD swing-arm bearing can also use it suitably.

[0032] As mentioned above, even if it adopts the titanium oxide layer of which mold, it is possible to raise a fretting-proof wear property. However, when a titanium alloy is used for the material of a bearing washer or a rolling element, in order to heat to an elevated temperature in the atmosphere generally, to oxidize a front face and to obtain, the organization of the material of bearing parts may change in prolonged heating maintenance, and control of thickness is difficult for a rutile type. On the other hand, even if an anatase type is the case where a base material is a titanium alloy in case a titanium oxide layer is formed since it is mainly obtained by the anode oxidation method and heating is not needed, it does not produce change of an organization. Titanium oxide anatase type [ from this point ] is more desirable.

[0033] Moreover, since coat processing is uniformly [ easily and ] possible for anatase type titanium oxide to a metal so that it may mention later, especially even if it is not necessary to be a titanium alloy as materials, such as a bearing washer, and you may be steel, a product made from a ceramic, etc. and it is steel, it is not limited to a steel type.

[0034] moreover, the thing for which processing conditions are adjusted in the case of an anatase type titanium oxide layer -- a front face -- a request, such as making a character into a smooth side or a porosity side, -- it becomes possible to control to a character. For example, if the surface state of a titanium layer is formed in the shape of porous one, while catalytic-reaction area's increasing and becoming easy to form a super-lipophilic state, a lubricating oil collects on a porous portion, lubricity improves further and a fretting-proof wear property increases.

[0035] But it becomes advantageous anti-friction bearing on corrosion resistance or a sound property further by making materials, such as a bearing washer, into a titanium alloy as mentioned above. Moreover, about titanium oxide layer thickness, since in the case of an anatase type titanium oxide layer a photocatalysis will not be in a super-lipophilic state, without fully being carried out when thickness is thinner than 0.3 micrometers, 0.3 micrometers or more are desirable. On the other hand, by 5 micrometers or more, a photocatalysis is [ thickness ] reaching the ceiling, the interface intensity of a titanium oxide film with \*\*\*\*\* falls remarkably further, a titanium oxide film exfoliates, and the effect cannot be demonstrated (refer to [ Table 2 and ] Table 3).

[0036] Therefore, the thickness at the time of considering as an anatase type titanium oxide layer has desirable 0.3-micrometer or more thing for which 5 micrometers or less are desirably set to 0.5 micrometers or more 3 micrometers or less.

[0037] On the other hand, when it considers as a rutile type titanium oxide layer, if thickness is 0.5 micrometers or less, the effect on a fretting-proof disposition will be small, and the effect will be saturated with 20 micrometers or more. Furthermore, in air oxidation treatment, since titanium oxide layer thickness tends to become uneven, if thickness is too thick, precision will fall (refer to [ Table 2 and ] Table 3).

[0038] Therefore, when it considers as a rutile type titanium oxide layer, it is desirable to set thickness to 0.5 micrometers or more 20 micrometers or less.

[0039]

[Embodiments of the Invention] Next, the gestalt of operation of this invention is explained. In addition, it explains by the steel case as a material of bearing parts.

[0040] The same heat treatment as manufacture of bearing parts, such as the conventional bearing washer, is added, and a bearing washer is manufactured. For example, to the bearing washer material and rolling voxel material of SUJ2, hardening hardening is



performed and hardness manufactures the bearing washer of HRC 61-63, and a rolling element.

[0041] Next, perform being immersed and raising after polish during the bath of the coating agent which consists of the sol or powder of anatase type titanium (the dipping method), it is made to dry at 60-120 degrees C, and the anatase type titanium oxide layer of predetermined thickness is formed.

[0042] The above-mentioned thickness adjusts the raising speed from a bath so that it may be set to 0.3-5 micrometers. The bearing washer and rolling element which formed the anatase type titanium oxide layer in the front face as mentioned above are attached, and anti-friction bearing is produced. At this time, a slight quantity of a lubricating oil is applied as lubricant.

[0043] using it under the environment where light (natural light etc.) hits, suitably, if it is in the above-mentioned bearing -- or suitably, it is applying light (natural light etc.), the contact surface of wettability of a lubricating oil of a bearing washer and a rolling element improves sharply by super-lipophilic property, and even if it is the lubricating oil of a minute amount, a uniform oil film is formed in the front face of a bearing washer and a rolling element in an instant. That is, even if it uses a lubricating oil instead of grease as lubricant, a slight amount is sufficient as the lubricating oil concerned, and a uniform oil film is formed in an instant, an oil film piece is avoided, and a fretting-proof wear property improves.

[0044] Since it is addition of a slight amount even if it uses a lubricating oil as lubricant at this time, disclosure and scattering of a lubricating oil can be suppressed. Furthermore, the torque change at the time of the high-speed rotation which became a problem conventionally with grease lubrication is also inhibited by the oil film to a lubricating oil being formed uniformly.

[0045] Here, although the above-mentioned operation gestalt explains the case where an anatase type titanium oxide layer is formed in both a rolling element and a bearing washer to the example, you may form an anatase type titanium oxide layer only in one bearing parts. Moreover, when forming an anatase type titanium oxide layer in a bearing washer, you may make it form only in a raceway surface.

[0046] There are two kinds of raw materials of anatase type titanium oxide, an organic system and an inorganic system. After an application, although membranes are calcinated and formed, an organic system has a burning temperature as high as 400-800 degrees C, and since a bearing washer and a rolling element soften, it is unsuitable.

[0047] On the other hand, the anatase type titanium of an inorganic system is powder or a sol, and after an application, in order to dry at 60-120-degree C low temperature and to form membranes, it is suitable. As an applying method, although there are the dipping method, the spin coat method, a spray method, etc., simple nature and mass-production nature to the dipping method is suitable.

[0048] Moreover, although the above-mentioned explanation explains the case where applied and dried the anatase type titanium oxide coating agent, and an anatase type titanium oxide layer is formed to the example, a rutile type titanium oxide coating agent may be applied and dried, and a rutile-type-titanium-dioxide layer may be formed.

[0049] In this case, although the effect of super-lipophilic property is not acquired, it can raise a surface fretting-proof wear property by the rutile-type-titanium-dioxide layer. Furthermore, while corrosion resistance and indentation-proof nature improve and a sound property and a noise performance become the suitable bearing of severe anti-friction bearing for spindle motors by producing the material of a rolling element and a bearing washer by the titanium alloy and the titanium alloy of especially a beta type or alpha+beta type, the front face is protected in a titanium oxide layer, and lubricative high reservation to the lubricating oil of an above-mentioned slight amount and improvement in a fretting-proof wear property are achieved.

[0050] Here, the bearing washer which consists of the above-mentioned titanium alloy is formed as follows, for example. That is, after carrying out, performing cold rolling processing, carrying out the grinding (lathe turning) of the aging treatment continuously about the material which consists of a beta type or a alpha+beta type titanium alloy and fabricating in a predetermined configuration, a titanium oxide film is formed by above-mentioned anodic oxidation or an above-mentioned air oxidation style.

[0051]

[Example] Next, the example about anti-friction bearing formed based on this invention is explained. The grease used in each example explained below and a lubricant type, and the lubricous oil quantity are as follows.

[0052]

Grease: Lithium-synthetic-oil system grease-lubrication oil : Ester-oil lubricous oil quantity: Pour in 5% 1% 0.5% 0.3% to bearing space capacity.

[0053] Moreover, the rocking durability test in the following example is performed the following condition.

Rocking frequency : 30Hz outer-ring-of-spiral-wound-gasket rocking : 8-degree axial load : 29.4-N rocking repeat rotational frequency : 5 million rotation ambient temperature : Bearing was decomposed after ordinary temperature and the fluctuation test, the wear state of an inner ring of spiral wound gasket and an outer ring of spiral wound gasket was observed, and the wear depth of an inner-ring-of-spiral-wound-gasket raceway surface and an outer-ring-of-spiral-wound-gasket raceway surface was measured.

[0054] Moreover, the raising dust examination in the following example is performed the following condition. That is, a bearing outer ring of spiral wound gasket is rotated by 7200rpm in the sealed container, the number of the dust generated in that case is measured by the out particle counter, and it considers as the amount of raising dust.

[0055] The amount of raising dust counted the number of dust with a particle size of 0.1 micrometers or more which exists in 0.1cf(s) (cube foot), and judged the amount of raising dust in the time of 1 hour passing with the number. Moreover, the torque examination in the following example is performed the following condition.

[0056] That is, a torque performance pours the lubricating oil of the amount of conventions into the interior of bearing, and measures the torque and torque change which rotate an inner ring of spiral wound gasket by 2rpm with a slewing gear, and are

required in early stages of the rotation where a 9.8-N axial load is given.

[0057] Next, the 1st example of this invention is explained, referring to a drawing. this example is a thing about the experiment for checking the operation and effect about the improvement in a fretting-proof wear property on a lubricous disposition by forming the anatase type titanium oxide layer based on this invention about a steel bearing-parts front face.

[0058] Here, SR1810 was produced as examination bearing and the bearing washer and the rolling element used SUJ2. And while preparing anti-friction bearing (a-f) based on this invention which formed the anatase type titanium oxide layer in the bearing washer by thickness as shown in Table 1, anti-friction bearing (g-l) which does not form a titanium oxide layer in a bearing washer for comparison was prepared.

[0059] And in order to consider as oil lubrication and to see the influence of lubricous oil quantity, it experimented by the various lubricous oil quantity shown in Table 1.

[0060]

[Table 1]

	記号	潤滑油量 (空間容積比)	酸化チタン層の有無		処理層厚さ ( $\mu\text{m}$ )
			軌動輪	運動体	
交 換 例	a	0.3%	○	—	1.22
	b	0.5%	○	—	1.19
	c	1%	○	—	1.22
	d	2%	○	—	1.18
	e	3%	○	—	1.19
	f	5%	○	—	1.20
比 較 例	g	0.3%	—	—	1.22
	h	0.5%	—	—	1.19
	i	1%	—	—	1.22
	j	2%	—	—	1.18
	k	3%	—	—	1.19
	l	5%	—	—	1.20

[0061] When it carried out by the various lubricous oil quantity which showed the above-mentioned rocking durability test in Table 1 about each above-mentioned bearing and the wear depth after a fluctuation test was investigated, the relation of the wear depth after lubricous oil quantity as shown in drawing 1, and a fluctuation test was obtained. Among drawing 1, - is the bearing of the example based on this invention, and O is the thing of comparative bearing.

[0062] In example g-l of comparison which does not perform titanium oxide coat processing to a bearing washer front face, although the wear depth has shallow lubricous oil quantity to bearing space capacity at the time of 1% or more and a fretting-proof wear property is high, if injection rate is smaller than 1%, lubricity will no longer be obtained enough and the wear depth will increase rapidly, so that drawing 1 may show. That is, it is necessary to supply lubricous oil quantity 1% or more by the bearing space volume ratio.

[0063] On the other hand, in example a-f of this invention which the titanium oxide layer formed, it turns out that the fretting wear property of few lubricous oil quantity [ 1% or less of ] is improving by the bearing space volume ratio, and lubricity is improving remarkably regardless of lubricous oil quantity by improvement in the oil film organization potency accompanying the manifestation of super-lipophilic property. That is, in anti-friction bearing based on the invention in this application, it turns out that a lubricating oil is used for lubricant, and it is satisfactory on a fretting wear property even if the amount of supply is very small (it is 1% or less at a bearing space volume ratio).

[0064] next, the various bearing of the conditions of a titanium oxide layer as shown in Table 2, and lubricous conditions was prepared that the difference in the effect by the difference in the thickness of the processing film of a titanium oxide layer should be investigated, and the wear depth, the amount of raising dust, the rotation torque, and the torque variation which are after a fluctuation test were investigated. In addition, the titanium oxide layer has made a part of lubricous method grease lubrication about the example of comparison which is an anatase type.

[0065] The result is shown all over Table 2.

[0066]

[Table 2]

		潤滑油量 (軸受空間容積比)	酸化チタン層の有無		処理層厚さ ( $\mu\text{m}$ )	摩耗深さ ( $\mu\text{m}$ )	発塵性能 (個/0.1c)	回転トルク及び トルク変動(gf $\cdot$ cm)
			軌動輪	転動体				
実 施 例	1	0.3%	有	無	1.24	0.15	30以下	0.4 $\pm$ 0.1
	2		無	有	1.19	0.17	30以下	0.4 $\pm$ 0.1
	3		有	有	1.22	0.18	30以下	0.4 $\pm$ 0.1
	4	0.5%	有	無	1.18	0.13	50以下	0.5 $\pm$ 0.1
	5		無	有	1.19	0.12	50以下	0.4 $\pm$ 0.1
	6		有	有	1.20	0.16	50以下	0.4 $\pm$ 0.1
	7	0.5%	有	無	0.30	0.15	50以下	0.5 $\pm$ 0.1
	8		有	無	2.54	0.15	50以下	0.5 $\pm$ 0.2
	9		有	無	3.80	0.21	50以下	0.4 $\pm$ 0.1
	10		有	無	5.00	0.22	50以下	0.5 $\pm$ 0.1
比 較 例	1	0.5%	無	無	-	0.58	90 $\sim$ 110	0.7 $\pm$ 0.2
	2	2%			-	0.24	100 $\sim$ 120	0.5 $\pm$ 0.1
	3	10%			-	0.25	100 $\sim$ 120	0.5 $\pm$ 0.1
	4	グリース	無	無	-	0.75	140 $\sim$ 160	0.8 $\pm$ 0.25
	5	0.5%	有	無	1.23	0.52	130 $\sim$ 150	0.7 $\pm$ 0.25
	6		有	有	0.25	0.43	70 $\sim$ 80	0.6 $\pm$ 0.2
	7		有	有	5.52	0.52	90 $\sim$ 110	0.7 $\pm$ 0.2

[0067] Like the examples 2 and 3 of comparison, an antiwear characteristic is good, and as shown in this table 2, when its attention is paid to the examples 1-3 of comparison which do not have a titanium oxide coat in both a bearing washer and a rolling element, when 2% (example 2 of comparison) of bearing space volume ratios, and 10% (example 3 of comparison) and lubricous oil quantity have enough lubricous oil quantity, although a torque variation is also small, there are quite many amounts of raising dust compared with the example of a This is because lubricous oil quantity needed to make [ many ] in order to secure lubricity, and scattering of an oil increased at the time of rotation of bearing. In this case, the oil which dispersed may pollute an HDD record medium and becomes unsuitable at the bearing of HDD equipment. Furthermore, when lubricous oil quantity decreases like the example 1 of comparison, it turns out that lubricity falls and a fretting-proof wear property and dusting characteristics fall.

[0068] Moreover, if its attention is paid to the examples 4 and 5 of comparison which performed grease lubrication, in the example 5 of comparison which performed titanium oxide layer processing to \*\*\*\*\*, by super-lipophilic operation of a titanium oxide layer, lubricating film becomes is easy to be formed in the oil lubricous said appearance, lubricity will improve and the wear depth will become small as compared with the example 4 of comparison. However, as mentioned above, in the case of grease lubrication, that torque change becomes large by stirring resistance cannot avoid easily, and since many [ as compared with oil lubrication ], the amount of raising dust also becomes unsuitable at the bearing for HDD swing arms with a severe demand.

[0069] Moreover, when thickness is thinner than 0.3 micrometers or becomes thicker than 5.0 micrometers even if it performs titanium oxide coat processing to a bearing washer as shown in the examples 6-7 of comparison, it turns out that each of wear depth, amounts of raising dust, and rotation torque is large.

[0070] Since in the case of the example 6 of comparison it runs short of thickness that 0.3 micrometers or less and a photocatalysis arise [ titanium oxide layer thickness ] and a front face will not be in a super-lipophilic state, this is considered that lubricity fell.

[0071] On the other hand, in the case of the example 7 of comparison, since titanium oxide layer thickness is as thick as 5 micrometers or more, the intensity of the interface of a titanium oxide layer and a bearing washer falls, and a titanium oxide layer causes ablation and is considered that lubricity fell remarkably.

[0072] On the other hand, even if it is a case especially with little lubricous oil quantity in the example based on this invention, the lubricity which was excellent with a super-lipophilic operation of an anatase type titanium oxide layer is demonstrated, the amount of raising dust, rotation torque, and the wear depth decrease, and the effect is clear.

[0073] Moreover, it not being necessary to necessarily give a titanium oxide layer to both \*\*\*\*\* and a rolling element, and giving a titanium oxide layer to either \*\*\*\*\* or a rolling element also acquires a good effect so that the result of examples 1, 2, 4, 5, 7-10 may show.

[0074] Moreover, if 0.3-micrometer or more range of processing layer thickness is 5 micrometers or less when titanium oxide layer thickness is changed like examples 7-10, a super-lipophilic operation is demonstrated and it turns out also in which processing layer thickness that the effect does not change.

[0075] Next, the 2nd example is explained, referring to a drawing. this example is for checking the effect about the lubricous

disposition top at the time of making a bearing washer material into a titanium alloy, and forming a titanium oxide layer in the front face, the improvement in a fretting-proof wear property, etc.

[0076] SR1810 was produced as examination bearing and an Ti-15Mo-5Zr alloy (beta titanium alloy), SUS440C, and three kinds of SUJ2 were used as a material of a bearing washer. And it examined by preparing various kinds of bearing of bearing washer material [ which is shown in Table 3 ], lubricous condition, and titanium oxide layer conditions. In addition, grease was adopted as the lubricous method of a part of bearing.

[0077]

[Table 3]

番号	試験材料	潤滑油圧 (油受空間容積比)	酸化チタン層の有無 試験法	処理層厚さ ( $\mu\text{m}$ )	磨耗深さ ( $\mu\text{m}$ )	発熱性能 ( $\text{度}/0.1\text{cD}$ )	回転トルク及び トルク変動( $\text{gf}\cdot\text{cm}$ )	海水噴移 試験結果
1	Ti-15Mo-5Zr	0.3%	79ターゼ型	1.24	0.18	30以下	$0.4\pm0.1$	○
2		0.5%	↑	1.18	0.17	50以下	$0.5\pm0.15$	○
3		↑	↑	0.30	0.19	50以下	$0.5\pm0.1$	○
4		↑	↑	2.54	0.18	50以下	$0.5\pm0.1$	○
5		↑	↑	3.80	0.23	50以下	$0.4\pm0.1$	○
6		↑	↑	5.00	0.25	50以下	$0.5\pm0.1$	○
7		0.3%	ルチル型	5.25	0.23	50以下	$0.5\pm0.1$	○
8		0.5%	↑	1.89	0.24	50以下	$0.4\pm0.1$	○
9		↑	↑	9.85	0.21	50以下	$0.5\pm0.1$	○
10		↑	↑	20.00	0.20	50以下	$0.4\pm0.1$	○
11		↑	↑	0.50	0.23	50以下	$0.5\pm0.1$	○
1	Ti-15Mo-5Zr	0.5%	無	-	1.21	90~110	$0.7\pm0.2$	○
2		1.0%	↑	-	1.03	80~100	$0.5\pm0.15$	○
3		5.0%	↑	-	0.85	80~100	$0.5\pm0.15$	○
4		グリース	無	-	1.85	140~160	$0.8\pm0.25$	○
5		↑	79ターゼ型	2.38	0.75	130~150	$0.7\pm0.2$	○
6		0.50%	↑	0.25	1.00	70~80	$0.6\pm0.2$	○
7		↑	↑	5.52	0.48	90~110	$0.7\pm0.2$	○
8		0.5%	ルチル型	0.41	0.72	70~80	$0.6\pm0.2$	○
9		↑	↑	22.10	0.24	50以下	$0.5\pm0.2$	○
10	SUS440C	0.50%	無	-	0.54	80~100	$0.7\pm0.2$	△
11	SUJ2	↑	↑	-	0.55	80~100	$0.7\pm0.2$	×

[0078] Here, oxidation treatment of a Ti-15Mo-5Zr alloy \*\*\*\*\* front face is performed by two kinds, an anode oxidation method and air oxidation treatment, and evaluates by preparing the bearing in which both the anatase type titanium oxide layer and the rutile-type-titanium-dioxide layer were formed.

[0079] Moreover, in order to check corrosion resistance apart from an above-mentioned examination unlike the 1st example, the salt spray test was performed about \*\*\*\*\*. The salt spray test was performed by spraying NaCl solution continuously 5% with a temperature of 35 degrees C for 150 hours, is measuring weight change after removing the corrosion product of the specimen after an examination, and evaluated the corrosion rate by mm/the year.

[0080] In addition, as an error criterion, they are \*\* and L about the case of O and 0.13-1.3mm/year in the case of 0.13mm/year or less. 3mm [ / ] or more case was made into x the year. The wear depth, the amount of raising dust, the rotation torque, torque variation, and salt spray test result after a fluctuation test are shown all over the above-mentioned table 3.

[0081] As shown in this table 3, when its attention is paid to the examples 1-3 of comparison which do not give a titanium oxide coat to a bearing washer and lubricous oil quantity is the small examples 1 and 2 of comparison, the wear depth after a rocking abrasion test is understood that it is large and the amount of raising dust and a torque variation are also high. moreover, lubricity improves the example 3 of comparison which increased lubricous oil quantity -- having -- the wear depth -- some -- an amount -- although it becomes small, the wear depth is relatively large, and since there are many amounts of raising dust, when it is used for the bearing for HDD, the antiwear characteristic of the titanium alloy itself may pollute a record medium, and becomes unsuitable as bearing for HDD at a low sake

[0082] Moreover, if its attention is paid to the examples 4 and 5 of comparison which adopted grease lubrication, as for the example 5 of comparison which performed titanium oxide layer processing, lubricating film will become is easy to be formed in the oil lubricous said appearance by super-lipophilic operation of a titanium oxide layer, lubricity's will improve, and the wear depth will become small as compared with the example 4 of comparison without a titanium oxide layer. However, in the case of grease lubrication, that torque change becomes large by stirring resistance cannot avoid easily, and since many [ as compared with oil lubrication ], the amount of raising dust is also unsuitable [ in the case of ], as mentioned above to the bearing for HDD swing arms with a severe demand.

[0083] Moreover, if its attention is paid to the examples 6 and 7 of comparison which performed anatase type titanium oxide coat processing to the bearing washer, in spite of having performed anatase type titanium oxide coat processing, each of wear depth, amounts of raising dust, and rotation torque is large. Since in the case of the example 6 of comparison it runs short of thickness that 0.3 micrometers or less and a photocatalysis arise [ titanium oxide layer thickness ] and a front face will not be in a super-lipophilic state, this is considered that lubricity fell. On the other hand, since anatase titanium oxide layer thickness is as thick as 5 micrometers or more, the example 7 of comparison is considered because the intensity of the interface of a titanium oxide layer and a bearing washer fell, the titanium oxide layer caused breakaway and lubricity fell remarkably.

[0084] Moreover, when its attention is paid to the examples 8 and 9 of comparison which performed rutile-type-titanium-dioxide coat processing to the bearing washer, since titanium oxide layer thickness is less than 0.5 micrometers, an antiwear characteristic falls and each of wear depth, amounts of raising dust, and rotation torque is large [ the example 8 of comparison ]. Although an antiwear characteristic improves and the wear depth is decreasing in order that titanium oxide layer thickness may exceed 20 micrometers in the case of the example 9 of comparison, since an ununiformity arises in coat layer thickness, precision falls and torque change becomes large a little, it is unsuitable.

[0085] Moreover, when its attention is paid to the examples 10 and 11 of comparison which used SUJ2 and SUS440C for \*\*\*\*\* material, when there are few lubricating oils, fretting-proof nature falls, the wear depth, the amount of raising dust, and rotation torque increase, and, as for the result of a salt spray test, that it is low also shows corrosion resistance.

[0086] It turns out that the lubricity which was excellent by regulating a processing film to 0.3-5 micrometers on the other hand with a super-lipophilic operation of a titanium oxide layer in the case of the examples 1-6 based on this invention which carried out anatase type titanium oxide coat processing even if it was a case with little lubricous oil quantity is demonstrated, and the amount of raising dust, rotation torque, and the wear depth are decreasing.

[0087] Moreover, by regulating a processing film in thickness of 0.5-20 micrometers, in the case of the examples 7-11 based on the invention in this application which performed rutile-type-titanium-dioxide coat processing, an antiwear characteristic improves remarkably by the rutile-type-titanium-dioxide coat also as a titanium alloy, moreover, the amount of raising dust, rotation torque, and the wear depth are decreasing the material of bearing parts to it, and the effect is clear to it. Moreover, the result of a salt spray test of each example of this invention is also good, and corrosion resistance is also high.

[0088] Next, the experiment about improvement in the shock resistance at the time of forming a titanium oxide layer in a front face as a bearing washer material as mentioned above using a titanium alloy and load carrying capacity was conducted. Namely, it incorporates, where pre-load is applied to a ball 8 as a ball bearing 3 of a spindle motor as shown in drawing 2, and it carries out by applying an impact load by making it fall this whole spindle motor. As an impact load, it carries out by being six kinds, 10, 13, 15, 17, 20, and 25kgf(s), and the degree (elevation of noise) of degradation of a sound property before and after applying each impact load is measured. in addition, the inside of drawing 2 and a sign 1 -- a shaft -- a sign 2 -- a sleeve -- a sign 4 -- an inner-ring-of-spiral-wound-gasket orbit -- in the sign 5, the sign 6 expresses the outer-ring-of-spiral-wound-gasket orbit, and the sign 7 expresses the outer ring of spiral wound gasket for the inner ring of spiral wound gasket

[0089] The result of this examination is shown in drawing 3. The bearing of this example corresponds to the example 7 in the above-mentioned table 3, and makes a rutile-type-titanium-dioxide layer form in a Ti-15Mo-5Zr alloy \*\*\*\*\* front face by air oxidation treatment here. Moreover, example I of comparison in drawing 3 - NI change tempering temperature by the case where SUS440C is used for \*\*\*\*\* , and are the amount of retained austenites 12% (example I of comparison), 8% (example RO of comparison), and 6% (example HA of comparison) And it sets up with 0% (example NI of comparison), respectively.

[0090] When it is made 0% (example NI of comparison) of retained austenites, it stops producing elevation of sound pressure,

although elevation of sound pressure is remarkable when an impact load becomes large since it is inferior to indentation-proof nature when its attention is paid to the example of comparison, and the retained austenite remains in \*\*\*\*\* using SUS440C. [0091] On the other hand, in the example which formed the titanium oxide layer based on this invention by making a bearing washer material into a titanium alloy, even if sound pressure level is which impact load, without receiving influence in the size of an impact load, it is low. Since local stress concentration does not happen even if an impact load increases, since this is using the titanium alloy with small Young's modulus, indentation-proof nature improves and change of sound pressure is for not being generated.

[0092] Furthermore, when SUS440C is used for \*\*\*\*\* and the amount of retained austenites is made 0%, even if it compares the bearing based on this invention, sound pressure level understands a bird clapper low relatively. Since many big and rough eutectic carbides exceeding 10micrometer remain in SUS440C, a wear difference produces this between a base and carbide, there is no wear difference local since the bearing based on this invention forms the titanium oxide layer to carbide interfering in the contact section and sound pressure becoming high, and since interference of the stiff sludges like SUS440C does not arise, a sound pressure value becomes low relatively. Therefore, in anti-friction bearing concerning this invention, it turns out that it can be suitably used as \*\*\*\*\* of the bearing for HDD spindles as which severe sound \*\*\*\*\* is required.

[0093] As mentioned above, by using a titanium alloy with Young's modulus smaller than steel for \*\*\*\*\* , the indentation-proof nature at the time of an impact load being given improves, and degradation of sound \*\*\*\*\* can be inhibited. Furthermore, a fretting-proof wear property improves by forming a titanium oxide layer in a \*\*\*\*\* front face by the thickness of the specific range. Since lubricous oil quantity can be sharply reduced in oil lubrication, low raising dust-ization can be attained, and a demand serves as suitable bearing for the severe swing arm for HDD, and the bearing for spindles.

[0094]

[Effect of the Invention] If it is when anti-friction bearing of this invention is adopted, and a titanium oxide film is an anatase type as it \*\*\*\*\* (ed) above Only by irradiating suitably the bottom of the environment where light including ultraviolet rays is applied suitably, and light including ultraviolet rays A fretting-proof wear property improves by being able to obtain a super-lipophilic front face to either [ at least ] \*\*\*\*\* or a rolling element, and high lubricity being obtained, even if the lubricating oil concerned is a ultralow volume, while being able to use a lubricating oil as lubricant. Moreover, even if a titanium oxide film is a rutile type, regardless of the existence of irradiation of light, a fretting-proof wear property improves at least.

[0095] Thus, even if it adopts oil lubrication instead of being the grease lubrication which torque change tends to produce when the invention in this application is adopted, lubricous oil quantity can be reduced sharply and about [ that low raising dust-ization can be attained ] and a fretting-proof wear property improves.

[0096] It enables this to offer the suitable bearing for example, for the swing-arm bearing for HDD etc.

---

[Translation done.]